

#6

520.41064X00

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant(s): HAMAMATSU, et al.
Serial No.: Not assigned
Filed: January 18, 2002
Title: APPARATUS AND METHOD FOR INSPECTING DEFECTS
Group: Not assigned



LETTER CLAIMING RIGHT OF PRIORITY

Honorable Commissioner of
Patents and Trademarks
Washington, D.C. 20231

January 18, 2002

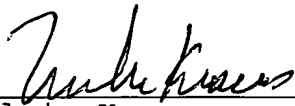
Sir:

Under the provisions of 35 USC 119 and 37 CFR 1.55, the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on Japanese Application No.(s) 2001-056547 filed March 1, 2001.

A certified copy of said Japanese Application is attached.

Respectfully submitted,

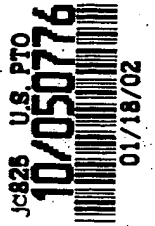
ANTONELLI, TERRY, STOUT & KRAUS, LLP



Melvin Kraus
Registration No. 22,466

MK/amr
Attachment
(703) 312-6600

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2001年 3月 1日

出 願 番 号

Application Number:

特願2001-056547

出 願 人

Applicant(s):

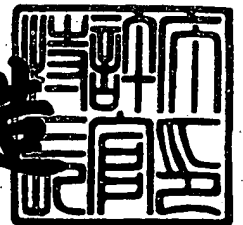
株式会社日立製作所

日立電子エンジニアリング株式会社

2001年11月26日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3103579

【書類名】 特許願

【整理番号】 NT00P0966

【提出日】 平成13年 3月 1日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 21/304

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

 【氏名】 浜松 玲

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

 【氏名】 野口 稔

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

 【氏名】 大島 良正

【発明者】

 【住所又は居所】 神奈川県横浜市戸塚区吉田町 2 9 2 番地 株式会社日立
製作所 生産技術研究所内

 【氏名】 西山 英利

【発明者】

 【住所又は居所】 東京都渋谷区東三丁目 1 6 番 3 号 日立電子エンジニア
リング株式会社内

 【氏名】 渡邊 哲也

【特許出願人】

 【識別番号】 000005108

 【氏名又は名称】 株式会社日立製作所

【特許出願人】

【識別番号】 000233480

【氏名又は名称】 日立電子エンジニアリング株式会社

【代理人】

【識別番号】 100068504

【弁理士】

【氏名又は名称】 小川 勝男

【電話番号】 03-3661-0071

【選任した代理人】

【識別番号】 100086656

【弁理士】

【氏名又は名称】 田中 恭助

【電話番号】 03-3661-0071

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 081423

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 欠陥検査装置およびその方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

被検査物を載置するステージと、

該ステージ上に載置された被検査物の表面上の個所に該表面に対して法線方向若しくはその近傍方向から UV 光若しくは DUV 光からなる照明光を所望の光束で落射照明する落射照明系と前記被検査物の表面上の個所に UV 光若しくは DUV 光からなる照明光を所望の光束で斜方照明する斜方照明系とを有する照明光学系と、

該照明光学系の落射照明系によって落射照明された個所から発生する第 1 の反射光の内前記被検査物の表面に対して高角度に向かう第 1 の高角度散乱光および前記照明光学系の斜方照明系によって斜方照明された個所から発生する第 2 の反射光の内前記高角度に向かう第 2 の高角度散乱光を集光して結像する高角度結像光学系と該高角度結像光学系で結像された第 1 および第 2 の高角度散乱光を受光して第 1 および第 2 の輝度信号に変換する光電変換手段とを有する検出光学系と

該検出光学系の光電変換手段で変換された第 1 の輝度信号と第 2 の輝度信号との間の相関関係に基いて前記被検査物上の欠陥を凹状欠陥と凸状欠陥とに弁別する比較判定部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 2】

前記照明光学系の落射照明系において、前記高角度集光光学系から迷光を発生させないように構成することを特徴とする請求項 1 記載の欠陥検査装置。

【請求項 3】

前記検出光学系は、さらに、前記個所から射出された第 1 の反射光のフーリエ変換面に該第 1 の反射光による特定の光像を遮光する遮光手段を備えたことを特徴とする請求項 1 または 2 記載の欠陥検査装置。

【請求項 4】

前記比較判定部において、前記相関関係として比率であることを特徴とする請

求項 1 乃至 3 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 5】

前記比較判定部において、さらに、前記第 1 の輝度信号および第 2 の輝度信号から算出される欠陥のサイズに応じたデータに基づいて凹状欠陥をスクラッチと薄膜状異物とに弁別するように構成したことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 6】

前記比較判定部において、さらに、前記第 1 の輝度信号および第 2 の輝度信号から算出される欠陥のサイズに応じたデータに基づいて凸状欠陥である異物を大小に弁別するように構成したことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 7】

前記比較判定部において、弁別された凸状欠陥について、回路パターン領域内に発生したものか、回路パターン領域外に発生したものかを認識できるように構成したことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 8】

前記比較判定部には、弁別された欠陥の情報を表示する表示手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 9】

前記比較判定部には、欠陥を弁別するための第 1 の輝度信号の関係に関する情報を表示する表示手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 10】

前記比較判定部には、欠陥を弁別するための第 2 の輝度信号の関係に関する情報を表示する表示手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 11】

前記比較判定部には、前記検出光学系の光電変換手段で変換された第 1 の輝度信号と第 2 の輝度信号との関係を、横軸および縦軸を対数値で表される相関図上

にプロットして表示する表示手段を有することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 1 2】

前記照明光学系において、被検査物の表面上における落射照明系で落射照明する個所と斜方照明系で斜方照明する個所とを検出光学系の視野内で異ならしめて構成したことを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 1 3】

被検査物を載置するステージと、

該ステージ上に載置された被検査物の表面上の個所に該表面に対して法線方向若しくはその近傍方向から UV 光若しくは DUV 光からなる照明光を所望の光束で落射照明する落射照明系と前記被検査物の表面上の個所に UV 光若しくは DUV 光からなる前記照明光と異なる波長の照明光を所望の光束で斜方照明する斜方照明系とを有する照明光学系と、

該照明光学系の落射照明系によって落射照明された個所から発生する第 1 の反射光の内前記被検査物の表面に対して高角度に向かう第 1 の高角度散乱光および前記照明光学系の斜方照明系によって斜方照明された個所から発生する第 2 の反射光の内前記高角度に向かう第 2 の高角度散乱光を集光する集光光学系と該集光光学系で集光された第 1 の高角度散乱光と第 2 の高角度散乱光とを波長分離する波長分離光学系と該波長分離光学系で分離された第 1 の高角度散乱光と第 2 の高角度散乱光との各々を結像する結像光学系と該結像光学系で結像された第 1 の高角度散乱光と第 2 の高角度散乱光との各々を受光して第 1 の輝度信号と第 2 の輝度信号の各々に変換する第 1 および第 2 の光電変換手段とを有する検出光学系と

該検出光学系の第 1 の光電変換手段で変換された第 1 の輝度信号と第 2 の光電変換手段で変換された第 2 の輝度信号との間の関係に基いて前記被検査物上の欠陥を弁別する比較判定部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置。

【請求項 1 4】

前記照明光学系の落射照明系において、前記高角度集光光学系から迷光を発生させないように構成することを特徴とする請求項 1 3 記載の欠陥検査装置。

【請求項 15】

前記検出光学系は、さらに、前記個所から射出された第1の反射光のフーリエ変換面に該第1の反射光による特定の光像を遮光する遮光手段を備えたことを特徴とする請求項13または14記載の欠陥検査装置。

【請求項 16】

前記比較判定部において、前記相関関係として比率であることを特徴とする請求項13乃至15の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 17】

前記比較判定部において、さらに、前記第1の輝度信号および第2の輝度信号から算出される欠陥のサイズに応じたデータに基いて凹状欠陥をスクラッチと薄膜状異物とに弁別するように構成したことを特徴とする請求項13乃至16の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 18】

前記比較判定部において、さらに、前記第1の輝度信号および第2の輝度信号から算出される欠陥のサイズに応じたデータに基いて凸状欠陥である粒子状の異物を大小に弁別するように構成したことを特徴とする請求項13乃至16の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 19】

前記比較判定部において、弁別された凸状欠陥について、回路パターン領域内に発生したものか、回路パターン領域外に発生したものかを認識できるように構成したことを特徴とする請求項13乃至16の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 20】

前記比較判定部には、弁別された欠陥の情報を表示する表示手段を有することを特徴とする請求項13乃至19の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 21】

前記比較判定部には、欠陥を弁別するための第1の輝度信号の関係に関する情報を表示する表示手段を有することを特徴とする請求項13乃至19の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 2 2】

前記比較判定部には、欠陥を弁別するための第 2 の輝度信号の関係に関する情報を表示する表示手段を有することを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 9 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 2 3】

前記比較判定部には、前記検出光学系の光電変換手段で変換された第 1 の輝度信号と第 2 の輝度信号との関係を、横軸および縦軸を対数値で表される相関図上にプロットして表示する表示手段を有することを特徴とする請求項 1 3 乃至 1 9 の何れか一つに記載の欠陥検査装置。

【請求項 2 4】

研磨または研削された膜の表面に発生した浅いスクラッチや異物に対して、UV 光若しくは DUV 光からなる照明光をほぼ同じ光束で落射照明および斜方照明を行い、該落射照明および斜方照明による浅いスクラッチと異物とから発生する散乱光を検出器で受光してそれぞれの散乱光の強度に応じた輝度信号に変換し、これら変換された輝度信号の相関関係に基いて浅いスクラッチと粒子状の異物とを弁別することを特徴とする欠陥検査方法。

【請求項 2 5】

研磨または洗浄またはスパッタリングされた膜の表面に発生した平坦な薄膜状異物や異物に対して、UV 光若しくは DUV 光からなる照明光をほぼ同じ光束で落射照明および斜方照明を行い、該落射照明および斜方照明による薄膜状異物と異物とから発生する散乱光を検出器で受光してそれぞれの散乱光の強度に応じた輝度信号に変換し、これら変換された輝度信号の相関関係に基いて薄膜状異物と粒子状の異物とに弁別することを特徴とする欠陥検査方法。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体製造や磁気ヘッド製造をする際に用いられる研磨または研削加工技術による平坦化加工工程において生じるスクラッチや粒子状の異物等の欠陥を弁別して検査する欠陥検査装置およびその方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

回路パターンが形成された半導体ウエハ上に付着した異物を回路パターンと弁別して検査する従来技術としては、特開平3-102248号公報（従来技術1）および特開平3-102249号公報（従来技術2）が知られている。即ち、従来技術1および2には、斜方照明により半導体基板上の異物を強調させて第1の光電変換素子で検出し、かつ落射照明により上記半導体基板上の背景である回路パターンのエッジを強調して第2の光電変換素子で検出し、上記第1の光電変換素子から得られる異物検出信号を上記第2の光電変換素子から得られる検出信号で除算等を行うことにより、異物検出信号を強調して上記異物を検出することが記載されている。

【0003】

また、シリコンウエハの表面に付着した異物と該表面に存在する結晶欠陥とを分離して検査する従来技術としては、特開平9-304289号公報（従来技術3）が知られている。即ち、この従来技術3には、シリコンウエハの表面を基準とした仰角が 30° 以下の角度をなす低角度受光系と、これよりも大きな仰角の高角度受光系とを有し、レーザ光を上記シリコンウエハの表面に対してほぼ垂直に照射することによって得られる散乱光を上記低角度受光系と上記高角度受光系とが受光し、上記高角度受光系でのみ受光されるものを結晶欠陥とし、上記低角度受光系および上記高角度受光系で受光されるものを付着異物として弁別して検査することが記載されている。

【0004】

また、半導体ウエハの表面に存在する異物や傷を、回路パターンを作成する際障害とならない微小な点状の凹部を誤認すること無く区別して検査する従来技術としては、特開平11-142127号公報（従来技術4）が知られている。即ち、従来技術4には、2つの異なる波長の照明光の各々を互いに異なる低入射角度と高入射角度とで、半導体ウエハの表面上の同一点に対して集光して照射し、該集光点からの散乱光を2波長別々に受光して光電変換し、各々の信号の強度差、即ち、点状の凹部からは低入射角度の照明光による散乱光強度が弱められるこ

とを利用して、半導体ウエハの表面に存在する異物や傷と点状の凹部とを区別して検査することが記載されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、半導体製造や磁気ヘッド製造をする際に被加工対象物（例えば絶縁膜）に対して用いられる平坦化加工技術としては、代表的なものとしてCMP（Chemical Mechanical Polishing）がある。このCMPは、研磨パッド上にシリカ等の遊離砥粒を散布し、被加工対象物の表面を研磨加工する平坦化技術である。また、平坦化加工技術としては、研磨パッドにダイヤモンド等の固定砥粒を埋め込み同様に研削加工を行う研削加工技術が用いられる場合もある。これらの研磨または研削加工技術においては、研磨または研削後被加工対象物（例えば半導体基板（ウエハ）上の絶縁膜）の表面には研磨または研削傷である様々な形状を有するスクラッチを生じることがある。このように半導体製造や磁気ヘッド製造において、被加工対象物の表面に様々な形状を有するスクラッチを生じると、その上に形成する配線においてエッチングが不十分となり短絡などの不良原因になる。そこで、研磨または研削後のウエハ研磨面または研削面を観察して様々な形状を有するスクラッチの発生状況を監視し、多発する場合にはスクラッチの形状に対応させた研磨または研削条件の見直しを行わなければならない。また、同時に、異物も発生するとその上に形成する配線の絶縁不良や短絡などの不良原因となる。異物が多発する場合には、装置洗浄を行う等のスクラッチとは異なる対策が必要となる。つまり、被加工対象物（例えば半導体基板上の絶縁膜）に対する研磨または研削工程においては、異物と様々な形状を有するスクラッチとを分けて監視して、それぞれに対して適切な対策を施すことが必要となる。

【0006】

しかしながら、上記従来技術1～4のいずれにも、被加工対象物（例えば、半導体基板上の絶縁膜）に対して研磨または研削加工を施した際、その表面に生じる様々な形状を有するスクラッチと付着する粒子状の異物とを弁別して検査することについては、考慮されていない。

【0007】

また、様々な形状を有するスクラッチの寸法は、幅Wが $0.2\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 程度で、深さDが数nm程度から非常に深いものでも100nm程度と非常に微小であるため、従来は、電子顕微鏡を用いて作業者が目視でレビューを行って様々な形状を有するスクラッチや異物を判別し、多大なレビュー時間を要していた。そのため、スクラッチ、或いは粒子状の異物への対策に遅れを生じ、多量のウエハを悪いコンディションのまま研磨し続けることとなり、収益に多大な損害を与えていた。

【0008】

本発明の目的は、上記課題を解決すべく、半導体製造や磁気ヘッド製造において、被加工対象物（例えば、半導体基板上の絶縁膜）に対してCMPなどの研磨または研削加工を施した際、その表面に生じる様々な形状を有するスクラッチ等と付着する粒子状の異物とを弁別して検査することができるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。

【0009】

また、本発明の他の目的は、被加工対象物（例えば、半導体基板上の絶縁膜）に対してCMPなどの研磨または研削加工を施した際、その表面に生じる様々な形状を有するスクラッチ等と付着する粒子状の異物とを弁別して検査することを全数検査、若しくは十分な頻度の抜き取り検査をできるようにして、上記欠陥が生じない半導体基板を高信頼度で、且つ効率的に製造できるようにした半導体基板の製造方法を提供することにある。

【0010】

また、本発明のさらに他の目的は、高さおよび深さの小さな薄膜状異物やスクラッチ等の凹状欠陥と、高さのある粒子状の異物の凸状欠陥を弁別して検査することができるようにして、上記欠陥が生じない半導体基板を高信頼度で、且つ効率的に製造できるようにした半導体基板の製造方法を提供することにある。

【0011】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために、本発明は、被検査物を載置するステージと、該ステージ上に載置された被検査物の表面上の個所に該表面に対して法線方向若しく

はその近傍方向からUV光若しくはDUV光からなる照明光を所望の光束で落射照明する落射照明系と前記被検査物の表面上の個所にUV光若しくはDUV光からなる照明光を所望の光束で斜方照明する斜方照明系とを有する照明光学系と、該照明光学系の落射照明系によって落射照明された個所から発生する第1の反射光の内前記被検査物の表面に対して高角度に向かう第1の高角度散乱光および前記照明光学系の斜方照明系によって斜方照明された個所から発生する第2の反射光の内前記高角度に向かう第2の高角度散乱光を集光して結像する高角度結像光学系と該高角度結像光学系で結像された第1および第2の高角度散乱光を受光して第1および第2の輝度信号($S(i)$), $T(i)$)に変換する光電変換手段とを有する検出光学系と、該検出光学系の光電変換手段で変換された第1の輝度信号 $S(i)$ と第2の輝度信号 $T(i)$ との間の相関関係に基いて前記被検査物上の欠陥 i を凹状欠陥(スクラッチや薄膜状異物)、と凸状欠陥(粒子状の異物)とに弁別する比較判定部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置およびその方法である。

【0012】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系の落射照明系において、前記高角度集光光学系から迷光を発生させないように落射照明光が集光レンズに当てないで被検査対象物の表面に照射するように構成することを特徴とする。

【0013】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における検出光学系は、さらに、前記個所から射出された第1の反射光のフーリエ変換面に該第1の反射光による特定の光像を遮光する遮光手段を備えたことを特徴とする。

【0014】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部において、前記相関関係として比率($T(i)/S(i)$), $S(i)/T(i)$)であることを特徴とする。

【0015】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部において、さらに、前記第1の輝度信号 $S(i)$ および第2の輝度信号 $T(i)$ から算出される欠陥の

サイズに応じたデータに基いて凹状欠陥をスクラッチと薄膜状異物（本発明においては薄膜状異物も厚さが非常に薄いことから凹状欠陥と定義する。）とに弁別するように構成したことを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部において、さらに、前記第1の輝度信号 $S(i)$ および第2の輝度信号 $T(i)$ から算出される欠陥のサイズに応じたデータに基いて凸状欠陥である粒子状異物を大小に弁別するように構成したことを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部において、弁別された凸状欠陥について、回路パターン領域内に発生したものか、回路パターン領域外に発生したものかを認識できるように構成したことを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部には、弁別された欠陥の情報を表示する表示手段を有することを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部には、欠陥を弁別するための第1の輝度信号の関係に関する情報を表示する表示手段を有することを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部には、欠陥を弁別するための第2の輝度信号の関係に関する情報を表示する表示手段を有することを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における比較判定部には、前記検出光学系の光電変換手段で変換された第1の輝度信号と第2の輝度信号との関係を、横軸および縦軸を対数値で表される相関図上にプロットして表示する表示手段を有することを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

また、本発明は、前記欠陥検査装置における照明光学系において、被検査物の表面上における落射照明系で落射照明する個所と斜方照明系で斜方照明する個所とを検出光学系の視野内で異ならしめて構成したことを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

また、本発明は、被検査物を載置するステージと、該ステージ上に載置された被検査物の表面上の個所に該表面に対して法線方向若しくはその近傍方向からUV光若しくはDUV光からなる照明光を所望の光束で落射照明する落射照明系と前記被検査物の表面上の個所にUV光若しくはDUV光からなる前記照明光と異なる波長の照明光を所望の光束で斜方照明する斜方照明系とを有する照明光学系と、該照明光学系の落射照明系によって落射照明された個所から発生する第1の反射光の内前記被検査物の表面に対して高角度に向かう第1の高角度散乱光および前記照明光学系の斜方照明系によって斜方照明された個所から発生する第2の反射光の内前記高角度に向かう第2の高角度散乱光を集光する集光光学系と該集光光学系で集光された第1の高角度散乱光と第2の高角度散乱光とを波長分離する波長分離光学系と該波長分離光学系で分離された第1の高角度散乱光と第2の高角度散乱光との各々を結像する結像光学系と該結像光学系で結像された第1の高角度散乱光と第2の高角度散乱光との各々を受光して第1の輝度信号と第2の輝度信号の各々に変換する第1および第2の光電変換手段とを有する検出光学系と、該検出光学系の第1の光電変換手段で変換された第1の輝度信号と第2の光電変換手段で変換された第2の輝度信号との間の関係に基いて前記被検査物上の欠陥を弁別する比較判定部とを備えたことを特徴とする欠陥検査装置およびその方法である。

【 0 0 2 4 】

また、本発明は、研磨または研削された膜の表面に発生した浅いスクラッチや異物に対して、UV光若しくはDUV光からなる照明光をほぼ同じ光束で落射照明および斜方照明を行い、該落射照明および斜方照明による浅いスクラッチと異物とから発生する散乱光を検出器で受光してそれぞれの散乱光の強度に応じた輝度信号に変換し、これら変換された輝度信号の相関関係に基いて浅いスクラッチと異物とを弁別することを特徴とする欠陥検査方法である。

【 0 0 2 5 】

また、本発明は、研磨または洗浄またはスパッタリングされた膜の表面に発生した平坦な薄膜状異物や異物に対して、UV光若しくはDUV光からなる照明光をほぼ同じ光束で落射照明および斜方照明を行い、該落射照明および斜方照明による薄膜状異物と異物とから発生する散乱光を検出器で受光してそれぞれの散乱光の強度に応じた輝度信号に変換し、これら変換された輝度信号の相関関係に基づいて薄膜状異物と異物とに弁別することを特徴とする欠陥検査方法である。

【 0 0 2 6 】

【発明の実施の形態】

本発明に係る半導体製造工程や磁気ヘッド製造工程等において用いられている平坦化加工工程の安定稼働を目的とした欠陥検査装置およびその方法の実施の形態について図面を用いて説明する。

【 0 0 2 7 】

まず、本発明に係る欠陥検査装置およびその方法の第1の実施の形態について説明する。本発明は、図1に示すように、半導体の製造工程の途中で製品の抜き取りまたは全数検査をする欠陥検査装置100に関するものである。半導体の製造ラインは、工程管理用のコンピュータ101により例えばネットワーク103を介して、または個々の製造装置（図示せず）毎に、製造条件が管理されている。工程の途中では、異物検査装置、光学式外観検査装置、SEM式検査装置、または人手によって半導体を検査している。検査により異常が見つかった場合は光学式レビュー装置、SEM式レビュー装置などでレビューし、場合によってはEDX（エネギー分散形X線分析法：energy dispersive X-ray spectroscopy）などで更に詳細な分析をして、異常の原因を突き止める。その後、異常を引き起こしていた製造条件や、製造装置の対策をすることで歩留りの向上を図っている。また、上記欠陥検査装置100によって検出された異物や欠陥の座標、寸法などのデータ、さらには弁別された欠陥の種類毎やカテゴリなどのデータは、歩留り管理システム102によりオンラインで管理されている。

【 0 0 2 8 】

本発明に係わる欠陥検査装置100は、図2に示すように、Siウエハ21上

に SiO_2 膜等の層間絶縁膜（被加工対象物）22を形成し、CMP（Chemical Mechanical Polishing）を施した際、ウエハ10上に生じた深さが浅いスクラッチ23aと異物24とを弁別することにある。ところで、 SiO_2 膜等の層間絶縁膜22の下は、必ずしもSi基板等の半導体基板21があるわけではなく、配線層が存在する場合もある。CMP工程では、この SiO_2 膜22の表面を平坦化するために研磨を行う。そのため、研磨傷であるスクラッチ23aは、図2（b）に示すように SiO_2 膜22の表面に生じる。ここで、 SiO_2 膜22の膜厚を t 、スクラッチ23aの幅を W 、深さを D とする。スクラッチ23aの概略寸法は W が $0.2\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 程度である。また、深さ D は数nm程度から非常に深い物でも 100nm 程度である。この様に、CMPで生じるスクラッチ23aは幅に対して深さが非常に浅いことが特徴である。図2（a）に異物24の寸法パラメータを示す。ここでは、異物24を直径 Φ の粒状の物としてモデル化している。実際の異物24はこの様に綺麗な球状ではないが、スクラッチ23aは幅 W （ $0.2\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 程度）に対して深さ D が数nm～数十nm程度と非常に浅いが、異物（粒子状の異物）24はスクラッチ23aほどに幅と高さに極端に大きな差がないことを示している。本発明は、このスクラッチ23aの特有の寸法比率に着目している。

【0029】

次に、上記第1の実施の形態を実現するためのスクラッチ等の表面検査装置の第1の実施例について図1～図9を用いて説明する。即ち、表面検査装置の第1の実施例は、図1に示すように、位置座標が測定されてXY方向に走行制御され、被検査物であるウエハ10が載置されるステージ15と、例えば波長 488nm （青の波長）のArレーザや窒素レーザやHe-Cdレーザやエキシマレーザ等の光源（レーザ光源に限定されるものではない。）からなり、異なる波長の光を出力する複数の光源2a、2b、および反射ミラー4a、4b、4cにより構成される照明光学系1と、集光レンズ6、波長別に分離するビームスプリッタ7およびフォトマル、CCDカメラ、CCDセンサ、TDIセンサ等から構成される光電変換器8a、8bにより構成される検出光学系5と、光電変換機8a、8bの各々から出力されるアナログ輝度信号をデジタル輝度信号に変換するA/D

変換部 1 6 a、1 6 b、該 A/D 変換部 1 6 a、1 6 b の各々から得られるデジタル輝度信号を一時記憶する記憶部 1 7 a、1 7 b および比較演算部 1 8 により構成される演算処理部 9 と、上記ステージ 1 5 から測定される位置座標を基に上記ステージ 1 5 を走行制御するステージコントローラ 1 4 と、該ステージコントローラ 1 4 を制御し、さらに演算処理部 9 を制御し、演算処理部 9 から得られる検査結果を受ける全体制御部 3 0 とから構成される。光源 2 a、2 b としては、CMP された絶縁膜 2 2 上に生じた微小な異物 2 4 やスクラッチ 2 3 を弁別して検出するために、エキシマレーザ光源のようにできるだけ波長が短い方が好ましい。即ち、光源 2 a としては、例えば 4 8 8 n m、または 3 6 5 n m のレーザ光を出すレーザ光源、光源 2 b としては、Y A G レーザの 2 倍波 (5 3 2 n m) 若しくは 4 倍波 (2 6 6 n m) の D U V レーザ光、または K r F エキシマレーザ光を出すレーザ光源で構成することができる。そして、光源 2 a から射出された U V 光若しくは D U V 光は、上記集光レンズ 6 の表面に直接照射されることなく、反射ミラー 4 a、反射ミラー 4 c を介してウエハ面 (CMP が施された絶縁膜の面) を法線方向、或いはその近傍から照射する。これを落射照明 1 2 と称する。あるいは、光源 2 b から射出された U V 光若しくは D U V 光は、反射ミラー 4 b を介してウエハ面 (CMP が施された絶縁膜の面) を斜め方向から照射する。これを、斜方照明 1 1 と称する。本第 1 の実施例においては、それぞれに別々の独立した 2 個の光源 2 a、2 b と複数の反射ミラー 4 a ~ 4 c を用いて落射照明と斜方照明を実現しているが、一つの光源 2 b と、該光源 2 b から出射される U V 光若しくは D U V 光をミラー 4 b とミラー 4 c へと光路を切り替える光路切替機構 (図示せず) を使用してもかまわない。また、反射ミラーの数、光路切替機構の有無は問わない。

【 0 0 3 0 】

また、照明光学系 1 において、落射照明系で落射照明光 1 2 を落射照明するウエハ面上における個所と斜方照明系で斜方照明光 1 1 を斜方照明するウエハ面上における個所とを検出光学系 5 の視野内で異ならしめて構成することにより、落射照明光 1 2 と斜方照明光 1 1 の波長を同じにすることができる。但し、この場合、光電変換器 8 a と光電変換器 8 b との受光面を、ウエハ面上における照射個

所の違いに対応するように設置する必要がある。

【 0 0 3 1 】

このように、照明光学系 1 としては、集光レンズ 6 の表面を直接照射させることなく、ウエハ 1 0 上の絶縁膜 2 2 に対して CMP が施された CMP 面に対して法線方向或いは、それに近い方向、及び、ウエハ水平面に近い斜め方向（約 3 0 ° 以下の角度）からの 2 系統の照明（落射照明、および斜方照明）1 1、1 2 が実現されていれば良い。落射照明 1 1 の場合、図 1 に示すように、できるだけ垂直方向に近い擬似落射照明であってもよい。

【 0 0 3 2 】

次に、検出手順について説明する。検出は 1 枚のウエハ 1 0 について、照明方向を切り替えて 2 回行う。具体的には、まず、光源 2 a から射出される UV 光若しくは DUV 光からなる落射照明光 1 2 を、集光レンズ 6 の表面に対して直接照射することなく、ウエハ 1 0 上の絶縁膜 2 2 の CMP 面に対して照射する。すると、集光レンズ 6 の表面の微細な面粗さやその表面に付着した極微細な異物等から反射してくる迷光を発生させることなく、絶縁膜 2 2 から発生した正反射光成分が除かれた状態で、絶縁膜 2 2 上に CMP によって発生した極浅い微細なスクラッチ 2 3 a および異物 2 4 から射出した散乱光（低次の回折光成分）のみが、集光レンズ 6 により集光されてビームスプリッタ 7 を通して例えば CCD、TDI センサ等から構成される光電変換器 8 a の受光面で受光される。そして、光電変換器 8 a の出力は、A/D 変換部 1 6 a で A/D 変換されて欠陥 i 毎の輝度値 $S(i)$ を得た後、一旦、記憶部 1 7 a に書き込まれる。

【 0 0 3 3 】

同時に、光源 2 b から出射され、光源 2 a とは異なる波長の UV 光若しくは DUV 光からなる斜方照明光 1 1 を、ウエハ面上の落射照明光 1 2 と同じ座標位置に照射する。なお、全体制御部 3 0 はステージ 1 5 の移動を制御することにより、光路切替機構（図示せず）を用いて照射方向を切り替えて斜方照明光 1 1 を、ウエハ面上の落射照明光 1 2 と同じ位置座標系で照射してもよい。

【 0 0 3 4 】

すると、絶縁膜 2 2 から発生した正反射光成分が除かれた状態で、絶縁膜 2 2

上にCMPによって発生した極浅い微細なスクラッチ23aおよび異物（粒子状の異物）24から射出した散乱光（低次の回折光成分）のみが、集光レンズ6により集光されてビームスプリッタ7を通して例えば光電変換器7bで受光される。そして、光電変換器7bの出力は、A/D変換部16bでA/D変換されて欠陥i毎の輝度値 $T(i)$ を得た後、一旦、記憶部17bに書き込まれる。

【0035】

次に、比較演算部18は、記憶部17aに記憶される落射照明12による欠陥i毎の検出輝度値 $S(i)$ と、記憶部17bに記憶される斜方照明11による欠陥i毎の検出輝度値 $T(i)$ との比率 $R(i)$ を算出する。比較演算部18は、該算出された輝度比率 $R(i)$ が予め設定した閾値（判定基準値：図5に示す弁別線20）よりも大きければ異物24、小さければ極浅い微細なスクラッチ23aと判別し、全体制御部9へ出力する。このように、CMPによって発生するスクラッチ23aは、極浅く微細であるため、集光レンズ6の表面に落射照明光12が照射された場合に集光レンズ6の表面から発生する微弱な迷光も例えば光電変換器7aで受光すると、スクラッチ23aからの散乱光と弁別することが難しくなる。そこで、落射照明光12を集光レンズ6の表面に照射させないように構成した。

【0036】

本第1の実施例においては、落射照明光12による検出と斜方照明光11による検出とを同時に行っているが、落射照明光12による検出を先に、斜方照明11による検出を後に行っても、斜方照明光11による検出を先に、落射照明光12による検出を後に行ってもかまわない。また、本第1の実施例においては、2度目の検出である斜方照明11による検出輝度値 $T(i)$ をA/D変換後一旦記憶部17に書き込み、2度目の検出輝度値 $T(i)$ を記憶することなく、検出と同時に既に記憶済みの1度目の落射照明12による検出輝度値 $S(i)$ を、比較演算部18において参照して輝度比較演算を行っても本発明を実現することは可能である。

【0037】

次に、本発明に係る上記実施の形態を実現するための弁別原理について図3お

よび図 4 を用いて詳細に説明する。本発明では、1 個の欠陥を 2 つの異なる角度（例えば落射照明 1 2 と斜方照明 1 1）から光束 d で照射することにより弁別を行う。まず、落射照明光 1 2 として、集光レンズ 6 の表面に直接照射することなく、ウエハ面の法線方向或いは、その近傍から光束 d で照射する。次に、斜方照明光 1 1 として、ウエハ面に対して水平方向に近い角度から光束 d で照射する。この、落射照明 1 2 と斜方照明 1 1 はどちらが先に行われても関係ない。弁別は、この光束 d の 2 方向照明それぞれにおいて得られる欠陥 2 3 a、2 4 から発せられた散乱光の強度を比較することにより行う。欠陥 2 3 a、2 4 からの散乱光強度は、欠陥 2 3 a、2 4 が受光した光源光量に応じて放出される。図 3 に示すように、欠陥 2 3 a、2 4 が受光する光源光量は、光源入射方向への欠陥寸法の投影面積にほぼ比例すると考えて良い。

【 0 0 3 8 】

凹状欠陥であるスクラッチ 2 3 a の場合、この投影面積は落射照明時には幅 W にほぼ比例し、また約 30° 以下の浅い角度で照射される斜方照明時には D' にほぼ比例することになる。ところが、スクラッチ 2 3 a の深さ D は、幅 W に比べて非常に浅いことから、この斜方照明投影長 D' は落射照明投影長 W' に比べて非常に短くなる。そのため、スクラッチ 2 3 a が受光する光源光量は斜方照明 1 1 の方が落射照明 1 2 に比べて弱くなり、その結果、スクラッチ 2 3 a から射出される散乱光の光量は、斜方照明 1 1 の方が弱くなる。それに比べて、凸状欠陥である異物（粒子状異物）2 4 の場合、斜方照明 1 1 と落射照明 1 2 の投影長 Φ はほぼ同等であることから、異物 2 4 から射出される散乱光の光量は、落射照明と斜方照明を比べても大きくは変わらない。そこで、図 4 に示すように、この落射照明 1 2 と斜方照明 1 1 のそれぞれによる散乱光の検出輝度値 $S(i)$ 、 $T(i)$ を比較して、斜方照明 1 1 の方が落射照明 1 2 よりも小さければスクラッチ 2 3 a、同等あるいは斜方照明の方が大きい物を異物（粒子状異物）2 4 と判別することが可能となる。

【 0 0 3 9 】

さらに、薄膜状異物 2 3 b も厚さが非常に薄いため、スクラッチ 2 3 a と同様に、斜方照明 1 1 による散乱光の検出輝度値 $T(i)$ が落射照明 1 2 による散乱

光の検出輝度値 $S(i)$ よりも小さく検出され、凹状欠陥とみなすことができる。

【0040】

この弁別結果の一例のグラフを図5に示す。これは、横軸に落射照明時の検出輝度値 $S(i)$ 、縦軸に斜方照明時の検出輝度値 $T(i)$ をとったグラフである。この場合、図中の弁別線20から下の領域がスクラッチ23aの領域、上の領域が異物24の領域となる。しかしながら、図5から明らかなように、実際には、このように、単純に、落射照明時の検出輝度値 $S(i)$ と斜方照明時の検出輝度値 $T(i)$ とを比較して比率を取ったとしても、弁別線（判定しきい値）20を引く（設定する）ことができず、異物24とスクラッチ23aと弁別することが難しい。そこで、本発明に係る落射照明時の検出輝度値 $S(i)$ と斜方照明時の検出輝度値 $T(i)$ とを用いて、具体的に、異物（粒子状異物）24とスクラッチ23aとを弁別する手法の実施例については、後述する。

【0041】

ところで、CMPによってスクラッチ23aが生じる絶縁膜（例えば、 SiO_2 膜）22は、光に対して透明なため、光干渉も含めて下層からの正反射光が生じるが、特に、落射照明12の場合には、図1に示すように、例えば反射ミラー4cを集光レンズ6の視野外に設置することによって、絶縁膜22の表面およびその下層からの正反射光（光干渉光も含む）を集光レンズ（対物レンズ）6の視野外に行くようにして例えば光電変換器8aで検出しないようにする工夫が必要となる。

【0042】

勿論、斜方照明11の場合は、図1に示すように、反射ミラー4bによって非常に浅い角度で照射されるため、絶縁膜22の表面およびその下層からの正反射光（光干渉光も含む）が集光レンズ6の視野外に行くことになり、光電変換器8bで検出されないことになる。

【0043】

また、光源2として、ブロードバンドの光若しくは白色光を出射するものを用いれば、絶縁膜22の表面からの正反射光と下層からの正反射光との間の光干渉

の問題は生じない。しかしながら、絶縁膜 2 2 上の微細な（特に深さ D が浅い）スクラッチ 2 3 a および異物 2 4 から強度の強い散乱光を得るためには、照明光として UV 光、若しくは DUV 光を用いるのが好ましい。

【 0 0 4 4 】

次に、反射ミラー 4 c の設置方法の実施例について図 6 を用いて説明する。これは、暗視野検出系の迷光を防止して、高感度に欠陥を検出するための手法である。スクラッチ 2 3 a の検査には、先に述べた原理から分かるようにウエハ 1 0 の面に対して法線に近い方向からの照明が必要となる。

【 0 0 4 5 】

しかし、UV 光若しくは DUV 光を落射照明する場合に、落射照明光を、集光レンズ 6 を透過してウエハ 1 0 を照明した場合、いわゆる迷光を生じてしまい、その結果検出画像にノイズが生じてしまうことになる。具体的には、集光レンズ 6 の表面の微細な研磨跡や集光レンズ 6 上に付着したゴミ等から生じる散乱光が迷光となってしまふからである。このため、欠陥 2 3 a、2 4 からの微小な散乱光を光電変換器 8 a で受光して観察する場合、この迷光が致命的となる。即ち、極微小なスクラッチ 2 3 a からの散乱光は、迷光によるノイズに埋もれて検出することができなくなってしまう。

【 0 0 4 6 】

そこで、本発明においては、図 6 に示すように、強度の強い入射光が集光レンズ 6 の表面に照射されず、しかも、ウエハ 1 0（層間絶縁膜 2 2 の表面（CMP 面）およびその下層の配線層などの表面並びにスクラッチ 2 3 a の表面および異物 2 4 の表面）からの正反射光成分（干渉光成分も含む）である 0 次回折光が集光レンズ 6 の瞳、即ち NA 内に入射しないように反射ミラー 4 c を設けることが必要となる。

【 0 0 4 7 】

図 6（a）には、小形の反射ミラー 4 c 1 をウエハ 1 0 と集光レンズ 6 の間の、ほぼウエハ 1 0 の法線上に配置し、落射照明光 1 2 a を集光レンズ 6 の表面に照射されないように横方向から小形の反射ミラー 4 c 1 に対して入射させて反射させ、しかもウエハ 1 0 からの正反射光成分（干渉光成分も含む）を反射ミラー

4 c 1 で反射させて集光レンズ 6 の瞳内に入射させずにスクラッチ 2 3 a や異物 2 4 からの散乱光（1 次以上の回折光成分）の内、斜線で示す領域（平面的には輪帯状）の散乱光（低次の回折光成分）を集光レンズ 6 の瞳内に入射させる手法を示す。なお、この小形の反射ミラー 4 c 1 としては、外形がほぼ楕円形状となる。これを、垂直照明による散乱光検出と称する。しかしながら、この手法は、集光レンズ 6 の中心部分がレンズとしての役目が失われるため、あまり好ましくはない。

【0048】

また、図 6（b）には、反射ミラー 4 c 2 をウエハ 1 0 と集光レンズ 6 の間で、かつ、集光レンズ 6 の N A から外側に配置し、落射照明光 1 2 b を集光レンズ 6 の表面に照射されないように横方向から反射ミラー 4 c 2 に対して入射させて反射させ、しかもウエハ 1 0 からの正反射光成分を集光レンズ 6 の瞳外にしてスクラッチ 2 3 a や異物 2 4 からの散乱光の内、斜線で示す領域の散乱光を集光レンズ 6 の瞳内に入射させる手法を示す。なお、反射ミラー 4 c 2 を周方向に広げると、反射ミラー 4 c 2 によって照明される照明光は輪帯照明となる。この場合、例えば、反射ミラー 4 c 2 を周方向に 1 2 0 度間隔で 3 つ設け、これら 3 つの反射ミラー 4 c 2 のそれぞれの間から 3 つの照明光 1 2 b の各々を入射させるようにすれば、3 方向から輪帯照明を施すことも可能となる。ところが、図 6（b）に示すように、反射ミラー 4 c 2 を一部分にすると、輪帯照明における一部分の照明となる。これを、疑似垂直照明による散乱光検出と称する。この手法は、集光レンズ 6 の視野（瞳）全部が使用されるため、非常に有効である。しかし、斜方照明光 1 1 の光束も、落射照明光 1 2 b の光束に本数の点も含めて合わせる必要がある。

【0049】

また、図 6（c）には、小形の反射ミラー若しくはハーフミラー 4 c 3 を集光レンズ 6 の上の光軸近傍に配置し、開口 5 0 を中央に穿設した集光レンズ 6 を配置し、小形の反射ミラー若しくはハーフミラー 4 c 3 で反射した垂直照明光 1 2 a を、集光レンズ 6 の表面に照射させないで、上記開口 5 0 を通過させてウエハ 1 0 上の絶縁膜 CMP 面に照射し、しかもウエハ 1 0 からの正反射光成分をフー

リエ変換面に設けられた空間フィルタ（遮光素子）51で遮光し、スクラッチ23aや異物24からの散乱光の内集光レンズ6を通して得られる散乱光を光電変換器8aで受光する手法を示す。

【0050】

また、図6（d）には、図6（c）と同様に、落射照明光12aを、ハーフミラー52の中央部分を透過し、集光レンズ6の開口50を通してウエハ10のCMP面に垂直照明し、ウエハ10からの正反射光をフリーエ変換面に設けられた空間フィルタ（遮光素子）53で遮光し、スクラッチ23aや異物24からの散乱光の内集光レンズ6を通して得られる散乱光をハーフミラー52の周辺部分で反射させて光電変換器8aで受光する手法を示す。なお、ハーフミラー52の周辺部分は、反射ミラーで構成してもよい。

【0051】

以上説明したように、図6（c）（d）では、図6（a）と同様に、集光レンズ6の中央に開口50を形成することによって、集光レンズ6の表面から迷光を発生することなく、垂直照明および垂直方向からの散乱光検出が可能となる。そのため、水平面内でスクラッチ23aの向きがどのように形成されたとしても、非常に浅いスクラッチ23aのエッジから生じる散乱光を比較的一様に光電変換器8aで受光することができ、一様な検出輝度値 $S(i)$ を得ることができる。さらに、線状のパターンである大スクラッチ（図示せず）に対して直角方向の指向性の強い回折光を得るためにも、垂直照明が疑似垂直照明よりも好ましい。しかし、図6（c）（d）の実施例は、集光レンズ6の中央部分に開口50を形成する関係で、集光レンズ6の機能が低下するため、あまり好ましくはない。

【0052】

ところで、図6（a）の垂直照明による散乱光検出の場合、入射光はレンズ6の下を通過しており、明らかに集光レンズ6の表面に照射されず、迷光が生じることはない。また、ウエハ10からの正反射光は、反射ミラー4c1で反射するため、やはり集光レンズ6の瞳には入らない。さらに、図6（c）および図6（d）に示す垂直照明も同様となる。また、図6（b）の疑似垂直照明による散乱光検出の場合も、明らかに入射光は集光レンズ6を透過しない。また、反射ミラ

ー 4 c 2 を集光レンズ 6 の N A の外に配置しているため、ウエハ 1 0 からの正反射光成分は集光レンズ 6 の瞳には入らない。つまり、何れの方法も光線強度が強く、迷光を生じやすい入射光は集光レンズ 6 の表面に照射されず、ウエハからの正反射光は集光レンズ 6 に入射しないように、落射照明を実現している。このため、迷光が生じにくく、層間絶縁膜 2 2 に対して CMP が施された CMP 面に発生したスクラッチ 2 3 a および異物 2 4 から S / N 比の高い検出画像を得ることが可能となる。なお、層間絶縁膜 2 2 は光に対して透明であるため、落射照明をした際、その下層から正反射した光が戻ってくるが、次に説明するように、集光レンズ（対物レンズ） 6 の N A 内に入射されないので、スクラッチ 2 3 a および異物 2 4 からの散乱光検出に影響を及ぼすことなく、スクラッチ 2 3 a および異物 2 4 を光電変換器 8 a から得られる信号によって検出することが可能となる。

【 0 0 5 3 】

更に、図 6 に示す落射照明 1 2 a、1 2 b は、迷光の解決による理由だけでなく、特にスクラッチ 2 3 a からの散乱光強度分布の強い成分を受光しやすくなることから、斜方照明 1 1 だけと比べて高い検出感度を得られる。これは、スクラッチ 2 3 a からの散乱光強度の内、低次回折光成分が比較的強いためである。即ち、ウエハ面の法線近傍から照明すれば、低次の回折光成分がウエハ 1 0 から反射されて集光レンズ 6 で集光されやすくなるためである。しかし、例えば絶縁層の下地や絶縁層の表面からの正反射光（0 次回折光）は完全に遮光若しくは集光レンズ 6 の瞳に入射させないようにすることが必要となる。

【 0 0 5 4 】

この結果、斜方照明 1 1 のみによる場合と比べてスクラッチ 2 3 a について感度の高い検出が可能となる。この様に、垂直照明 1 2 a、或いは疑似垂直照明 1 2 b のみを用いることにより、高感度なスクラッチ 2 3 a の検査を実現することが可能となる。

【 0 0 5 5 】

ところで、集光レンズ 6 の N A 内に反射ミラー 4 c 1 を配置しても、レンズ 6 等による結像特性に影響を与えないように、反射ミラー 4 c 1 の形状をほぼ楕円形状に形成すれば、図 6（a）に斜線で示す領域（平面的には輪帯領域）の散乱

光を集光レンズ6で集光して結像させることができることになる。しかし、もし、集光レンズ6のNA内に反射ミラー4c1が存在することが結像特性に悪影響を及ぼすような場合、垂直照明時には反射ミラー4c1をNA外に退避させる機構が必要となる。半導体検査の場合、欠陥検査装置から発生するゴミを極力無くす必要がある。この観点から見れば、可動機構をウエハ上方に設けるのは好ましくない。しかしこの様な場合でも、疑似垂直照明12bを用いれば良い。疑似垂直照明12bの場合、反射ミラー4c2はNAの外に有るため決して結像特性に悪影響を及ぼすことは無く、別途退避機構を設ける必要が無い。

【0056】

また、本発明に係るスクラッチ等の表面検査装置を、斜方照明のみによる異物検査装置として使用する場合には、垂直照明が不要となるため、図6(a)に示す反射ミラー4c1を退避させて集光レンズ6のNAの全てを利用して異物から発生する散乱光を有効に集光して光電変換器8bで受光させることも可能である。しかし、反射ミラー4c1を退避させなくして、ゴミの発生をなくするためには、表面検査装置の垂直照明としてスクラッチの検出精度が多少低下する疑似垂直照明12bを用いれば良い。また、垂直照明として、図6(c)および(d)に示す手法を用いる場合には、斜方照明のみによる異物検査装置として使用する場合には垂直照明を停止させることによって適用することが可能となる。さらに、斜方照明のみによる異物検査装置として使用する場合には、周期的な配線パターンが形成されたメモリセル上の異物を検出しようとするとき、周期的な配線パターンからの回折光に基づく回折パターンを遮光する必要があるため、上記空間フィルタ51、53を直線状の空間フィルタに交換すればよい。

【0057】

次に、比較演算部18などにおいて、記憶部17a、17bに記憶された落射照明12による欠陥i毎の輝度信号S(i)および斜方照明11による欠陥i毎の輝度信号T(i)を基に、欠陥のサイズを推定する方法について、図7を用いて説明する。図7(a)、(b)には、異物24、スクラッチ23aおよび薄膜状異物23b毎から検出される輝度信号S(i)、T(i)の波形301、302を示す。図7(b)に示す輝度信号波形302は、検出器(光電変換器)8a、

8bのダイナミックレンジにより、図7(c)に示す如く、303のレベルでさちることになる。そこで、プロット点304に基いて補間し、補間された信号波形を2次元に積分することによって、その体積を求める。図7(a)に示す輝度信号については、さちっていないので、そのまま、この輝度信号波形を2次元に積分することによって、体積を求める。これら求められた体積値(2次元積分値)と欠陥のサイズとは相関関係があることによって、この補正係数を掛けることによって、欠陥のサイズに応じた推測データを得ることができる。

【0058】

図8には、本発明に係る検査装置の例えば比較演算部18などで異物2901についての推測データとして推測された異物サイズ(μm)と、実際にSEMで測長されたサイズ(μm)との関係を示す。この図8に示すように、ウエハ10に対する複数のプロセス処理(例えばCMP)工程によって、2902、2903で示すように異なる相関関係を有する。そこで、上記補正係数は、ウエハの表面状態に応じて変わることになる。従って、予め、SEM測長に基いて、プロセス工程(ウエハの表面状態)に応じた補正係数を求めておく必要がある。

【0059】

また、図9(a)には、フロントエンド・プロセス・ウエハ(初期工程であるトランジスタ形成工程におけるウエハ)における欠陥3101について、輝度信号波形から推測した異物サイズ(μm)とSEM測長されたサイズ(μm)との間に3102で相関係数 $R^2=0.7945$ で相関関係があることが示される。このように、トランジスタ形成工程においては、 $0.1\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ の極微小欠陥がトランジスタの性能に影響を及ぼすことから、このような極微小欠陥においても、相関関係があることがわかる。なお、相関係数 R は、次に示す(数1)式で表される。

【0060】

$$R = \frac{(N \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i))}{(\sqrt{(N \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2)(N \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2)})} \quad (\text{数1})$$

ただし、 x 、 y は変量を示す。

【0061】

また、図9 (b) には、バックエンド・プロセス・ウエハ(後期工程である配線形成工程におけるウエハ)における欠陥3101について、輝度信号波形から推測した異物サイズ(μm)とSEM測長されたサイズ(μm)との間に3102で相関係数 $R^2=0.7147$ で相関関係があることが示される。このように、配線形成工程においては、 $0.3\mu\text{m}$ 以上の $5\mu\text{m}$ 程度まで、さらにそれ以上の微小異物が配線に影響を及ぼすことから、このような微小異物においても、相関関係があることがわかる。なお、配線工程においては、 $0.3\mu\text{m}$ 以下の微小異物は、重要度が低下するため、消去されている。

【0062】

次に、本発明に係る検査装置で検査する欠陥について図10を用いて説明する。CMPされた表面の欠陥としては、通常の異物($0.1\mu\text{m}\sim 5\mu\text{m}$ 程度)に基づく凸状欠陥24と、スクラッチ(幅Wが $0.2\mu\text{m}\sim 0.4\mu\text{m}$ 程度、深さDが数nm~数+nm程度)に基づく凹状欠陥23aおよび薄膜状異物(径が約 $0.5\mu\text{m}\sim 2\mu\text{m}$ 程度、厚さが数nm~数+nm程度)が付着した平坦状欠陥23bが存在することになる。

【0063】

さらに、輝度信号からのサイズ(μm)と、SEM測長に基づくサイズ(μm)との相関図(相関係数 $R^2=0.3847$)から、これら凸状欠陥24と、凹状欠陥23aおよび平坦状欠陥23bとは、異なった相関を有することが判明した。

【0064】

さらに、スクラッチ等の凹状欠陥23aと薄膜状異物等の平坦状欠陥23bとを落射照明および/または斜方照明によって検出される輝度信号 $S(i)$ 、 $T(i)$ から推測される欠陥のサイズに基いて弁別することが可能であることを見出した。

【0065】

さらに、これら異物等の凸状欠陥24、およびスクラッチ等の凹状欠陥23aが発生した領域が、回路パターン領域内であるか、回路パターン領域外であるかに弁別することによって、異物等の凸状欠陥24、およびスクラッチ等の凹状欠

陥 23 a の回路パターンに対する致命性を弁別することが可能となる。

【0066】

そこで、比較演算部 18 などにおいて演算処理する、これらの弁別方法について、図 11 を用いて説明する。まず、ステップ S111 において、光電変換器 8 a から検出される落射照明 12 による欠陥 i 毎の輝度信号 $S(i)$ を、A/D 変換器 16 a で A/D 変換後、記憶部 17 a に記憶する。同時に、またはその後、ステップ S112 において、光電変換器 8 b から検出される斜方照明 11 による欠陥 i 毎の輝度信号 $T(i)$ を、A/D 変換器 16 b で A/D 変換後、記憶部 17 b に記憶する。そして、ステップ S113 において、比較演算部 18 は、記憶部 17 a、17 b の各々に記憶された落射照明により検出した欠陥 i 毎の輝度信号 $S(i)$ と斜方照明により検出した欠陥 i 毎の輝度信号 $T(i)$ との比率 $R(i)$ で、図 12 において示される凹凸度 (b/a) を、次に示す (数 2) 式により求める。

【0067】

なお、図 12 は、横軸、および縦軸ともに対数で示されているため、対数表となっている。この図 12 において、左下から右上に向かった矢印 121 の方向が欠陥のサイズが対応し、上記矢印 121 に直角な矢印 122 が欠陥の凹凸度 (b/a) で示される。欠陥の凹凸度 (b/a) は、図 13 に示される横方向の寸法 a に対する縦方向の寸法 b の比率で示されることになる。ただし、輝度信号の比率 ($T(i)/S(i)$) に基づく欠陥の凹凸度の弁別、および輝度信号 ($S(i)$, $T(i)$) の積分値に、凹凸度および工程に応じた補正係数を掛けたものに基づく欠陥のサイズの弁別は、それぞれ輝度信号の対数をとることは、必ずしも必要としない。

【0068】

$$R(i) = T(i) / S(i) = b / a \quad (\text{数 2})$$

ここで、i は、複数個の欠陥を評価するために、欠陥毎につけた認識番号である。なお、光束 d のサイズや光電変換器 7 の画素サイズにより 1 個の欠陥が複数の欠陥として検出される場合があるため、近接して検出される欠陥を示す信号に対して膨張処理 (連結処理) によって一つの欠陥を示す信号に変換する必要がある。

る。そのため、欠陥毎につける認識番号 i は、連結処理された一つの欠陥を示す信号に対して付与されることになる。

【0069】

さらに、ステップ S 1 1 4 において、比較演算部 1 8 は、上記求められた輝度比率 $R(i)$ が予め設定した閾値（判定基準値：図 5 に示す弁別線 2 0）よりも大きければ粒子状異物等の凸状欠陥 2 4、小さければスクラッチおよび薄膜状異物等の凹状欠陥 2 3 と判別する。本実施例においては、斜方照明時の検出輝度 $T(i)$ を落射照明時の検出輝度値 $S(i)$ で除算しているが、その逆に、落射照明時の検出輝度値 $S(i)$ を斜方照明時の検出輝度値 $T(i)$ で除算してもかまわない。この場合は、比率 $R(i)$ が予め設定した閾値（判定基準値：図 5 に示す弁別線 2 0）よりも大きければスクラッチおよび薄膜状異物などの凹状欠陥 2 3 であり、小さければ異物等の凸状欠陥 2 4 と弁別することができる。

【0070】

次に、全体制御部 3 0 は、ステップ S 1 1 5 において、ステップ S 1 1 3 で得られる凹凸度 (b/a) および工程管理用コンピュータ 1 0 1 から得られるウエハ 1 0 の工程情報を基に、欠陥のサイズに応じたデータを推定するための補正係数を算出する。

【0071】

次に、ステップ S 1 1 6 において、比較演算部 1 8 や全体制御部 3 0 など、記憶部 1 7 a、1 7 b の各々に記憶された落射照明により検出した欠陥 i 毎の輝度信号 $S(i)$ 、および斜方照明により検出した欠陥 i 毎の輝度信号 $T(i)$ を基に、それぞれの輝度信号波形について 2 次元的に積分して体積値を求め、これらに、全体制御部 3 0 において算出された、上記ウエハの表面状態（工程管理用コンピュータ 1 0 1 から工程の情報として取得することができる。）および凹凸度 (b/a) に適合する補正係数を掛けることによって、欠陥についてサイズの推測値（サイズに応じた推測データ）（ μm ）を算出する。

【0072】

次に、ステップ S 1 1 7 において、比較演算部 1 8 や全体制御部 3 0 など、ステップ S 1 1 5 において推測された欠陥のサイズに応じたデータに基いて、図

12に示すように、凹状欠陥23をスクラッチ23aと薄膜状異物23bとに弁別することができる。なお、図12に示すように、落射照明による輝度信号S(i)の波形を2次元に積分して体積値を求め、この求められた体積値に上記補正係数を掛けたもの(サイズに応じた推測データ)で、スクラッチ23aと薄膜状異物23bとに弁別することも可能である。

【0073】

以上により、凹状欠陥であるスクラッチ23aと薄膜状異物23bとを弁別することが可能となる。

【0074】

次に、全体制御部30において、ステップS114で弁別された凸状欠陥として通常の粒子状異物24を弁別することが可能である。さらに、弁別された粒子状異物について大小に弁別する必要がある場合には、ステップS118において、ステップS116から得られる異物のサイズ推測値(サイズに応じた推測データ)を用いることによって、図12に示す関係から大小に弁別することが可能となる。

【0075】

さらに、ステップS119において、比較演算部18や全体制御部30などで、図14に示されるように、サイズが小さい粒子状異物24およびスクラッチ23aについては、CADシステム(図示せず)からネットワーク103を介して得られるウエハ10上の回路パターンの配列情報、または検出器8a、8bが検出する回路パターンの画像信号に基いて得られる回路パターンの配列情報に基いて、粒子状異物24やスクラッチ23aが回路パターン上に発生したのか、回路パターン外に発生したのかを弁別することによって、回路パターンに対する異物24やスクラッチ23aの致命性を判定することが可能となる。即ち、欠陥のサイズが小さい異物24が回路パターン上に発生した場合をカテゴリ1と分類し、粒子状異物24が回路パターン外に発生した場合をカテゴリ2と分類し、欠陥のサイズが小さいスクラッチ23aが回路パターン上に発生した場合をカテゴリ3と分類し、スクラッチ23aが回路パターン外に発生した場合をカテゴリ4と分類し、欠陥のサイズが大きい例えば薄膜状異物が発生した場合をカテゴリ5と分類

することができる。このように、全体制御部 3 0 は、工程別に、少なくともロット単位で、カテゴリを分類することができるので、欠陥の致命性を評価できるのはもとより、欠陥の発生原因の究明にも役立たせることが可能となる。なお、回路パターンの配列情報を、検出器 8 a、8 b が検出する回路パターンの画像信号に基いて得る場合には、欠陥についての輝度信号 $S(i)$ 、 $T(i)$ については、検出器 8 a、8 b が検出する画像信号を例えば繰り返されるチップ比較若しくはダイ比較することによって、繰り返される回路パターンの画像信号を消去して抽出することができることになる。

【 0 0 7 6 】

次に、全体制御部 3 0 が、表示装置 3 3 に表示する、粒子状異物 (○で示す) やスクラッチなど (△で示す) についての落射照明時の検出輝度値 $S(i)$ と斜方照明時の検出輝度値 $T(i)$ との相関図を図 1 5 および図 1 6 に示す。図 1 6 に示すように、両方の輝度値 $S(i)$ 、 $T(i)$ とともに、対数をとることによって、図 1 5 に示す通常の日盛で表示したのと比べると、異物 2 4 とスクラッチ 2 3 a などとを容易に見分けることができるとともに、両方を弁別するしきい値 (弁別線 2 0) の設定を画面上で行うことが容易となる。なお、図 1 6 に示すように、横軸および縦軸ともに対数をとった場合、粒子状異物 2 4 を示す相関線 1 6 1 と、スクラッチ 2 3 a 等を示す相関線 1 6 2 とは、平行線となる。

【 0 0 7 7 】

次に、全体制御部 3 0 が、表示装置 3 3 の画面に表示する欠陥マップについて、図 1 7 を用いて説明する。図 1 7 (a) には、図 1 1 に示すステップ S 1 1 4 において弁別された検査結果である、所定の CMP 工程におけるウエハ上の異物マップを表示装置 3 3 の画面に表示した状態を示す。同様に、図 1 7 (b) には、図 1 1 に示すステップ S 1 1 7 で弁別された検査結果である、所定の CMP 工程におけるウエハ上のスクラッチマップを表示装置 3 3 の画面に表示した状態を示す。同様に、図 1 7 (c) には、図 1 1 に示すステップ S 1 1 7 で弁別された検査結果である、所定の CMP 工程におけるウエハ上の薄膜状異物マップを表示装置 3 3 の画面に表示した状態を示す。これら異物マップ、スクラッチマップ、薄膜状異物マップの各々から、ウエハ上での粒子状異物、スクラッチ、薄膜状異

物の各々の発生分布を知ることができる。

【 0 0 7 8 】

【発明の効果】

本発明によれば、半導体製造や磁気ヘッド製造において、絶縁膜等の被加工対象物に対してCMPなどの研磨または研削加工を施した際、その表面に生じる様々な形状を有するスクラッチ等と付着する粒子状異物とを弁別して検査をすることができる効果を奏する。

【 0 0 7 9 】

また、本発明によれば、スクラッチの形状を詳細に分類し得るため、不具合要因の特定を早急に行うことができる効果を奏する。

【 0 0 8 0 】

また、本発明によれば、平坦化研磨工程において全数、若しくは高頻度の抜き取り検査が可能であるため、速やかに研磨装置の不具合を発見することができ、その結果、適切な対策を取ることが可能となるため研磨工程における歩留まりを飛躍的に向上させることが可能となる効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明に係る欠陥検査装置の第 1 の実施の形態を示す概略構成図である。

【図 2】

本発明に係るCMP等によって絶縁膜上に発生するスクラッチと異物の形状パラメータを示す図である。

【図 3】

本発明に係るスクラッチと異物に光束 d を照射したときの入射光投影長を説明するための図である。

【図 4】

本発明に係るスクラッチと粒子状異物との弁別原理を示す図である。

【図 5】

本発明に係るスクラッチと粒子状異物との弁別結果の一実施例を示す図である。

【図 6】

本発明に係る垂直照射、および疑似垂直照明の実施例を示す図である。

【図 7】

本発明に係る検出光学系で検出される輝度信号波形を示す図である。

【図 8】

本発明に係るウエハのCMP面上に発生した異物を、欠陥検査装置で推測した異物サイズ (μm) とSEMで測長したSEM測長サイズ (μm) との相関関係で示す相関図である。

【図 9】

本発明に係るフロントエンド・プロセス・ウエハ（初期工程ウエハ）およびバックエンド・プロセス・ウエハ（後期工程ウエハ）における輝度信号からのサイズ (μm) を横軸、SEM測長サイズ (μm) を縦軸にした場合の異物発生状態をプロットした相関図である。

【図 1 0】

本発明に係るウエハのCMP上に発生した凸状欠陥（粒子状異物）と凹状欠陥（スクラッチ、薄膜状異物）を、欠陥検査装置で検出された輝度信号からのサイズ (μm) とSEMで測長したSEM測長サイズ (μm) との相関関係で示す相関図である。

【図 1 1】

本発明に係るスクラッチ、薄膜状異物、および粒子状異物（通常の異物）の弁別処理フローの一実施例を示す図である。

【図 1 2】

本発明に係る基本思想を示す落射照明による輝度信号 $S(i)$ と斜方照明による輝度信号 $T(i)$ との関係に基づく凹凸度 (b/a) およびサイズに基づいてスクラッチ、薄膜状異物、および粒子状異物（通常の異物）が弁別されることを説明するための相関図である。

【図 1 3】

凹凸度の説明図である。

【図 1 4】

本発明に係る欠陥の致命性について判別できるようにカテゴリ 1 ～ 5 に分類した検査結果を得るための説明図である。

【図 1 5】

本発明に係る落射照明による輝度信号 $S(i)$ と斜方照明による輝度信号 $T(i)$ との関係に基づく粒子状異物およびスクラッチの分布を示す図である。

【図 1 6】

本発明に係る落射照明による輝度信号 $S(i)$ の対数値と斜方照明による輝度信号 $T(i)$ の対数値との関係に基づく粒子状異物およびスクラッチの分布を示す図である。

【図 1 7】

本発明に係る欠陥検査装置で弁別された各々の欠陥の分布を示すウエハマップを示す図である。

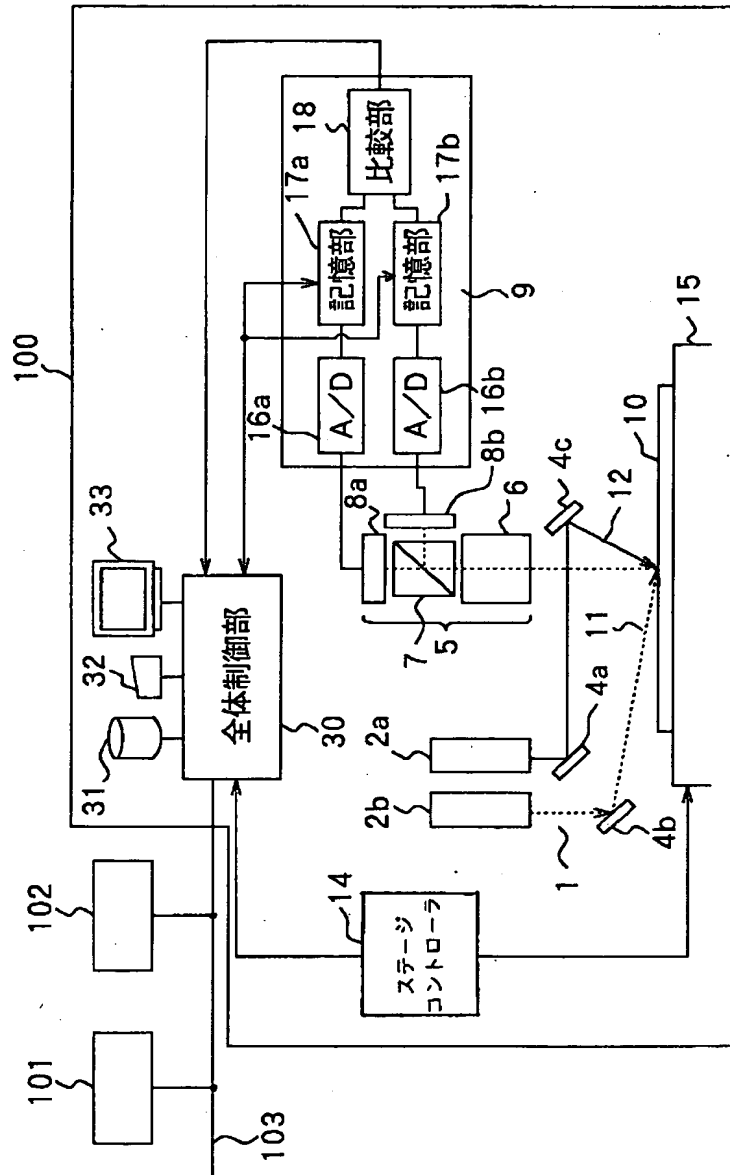
【符号の説明】

1 … 照明光学系、2 a、2 b … 光源、4 b、4 c、4 c 1 ～ 4 c 3 … 反射ミラー、5 … 検出光学系、6 … 集光レンズ（結像光学系も含む）、7 … ビームスプリッタ、8 a、8 b … 光電変換器（CCD、TDI センサ）、9 … 演算処理部、10 … 被検査物（ウエハ）、11 … 斜方照明光、12 … 落射照明光、12 a … 垂直照明光、12 b … 疑似垂直照明光、14 … ステージコントローラ、15 … ステージ、16 a、16 b … A/D 変換部、17 a、17 b … 記憶部、18 … 比較演算部（比較判定部）、21 … 基板、22 … 絶縁膜（ SiO_2 膜）、23 a … スクラッチ、23 b … 薄膜状異物、24 … 異物（粒子状異物）、20 … 弁別線（閾値）、30 … 全体制御部、31 … 記憶装置、32 … 入力手段、33 … 表示装置、100 … 欠陥検査装置、101 … 工程管理用コンピュータ、102 … 歩留まり管理システム、103 … ネットワーク。

【書類名】 図面

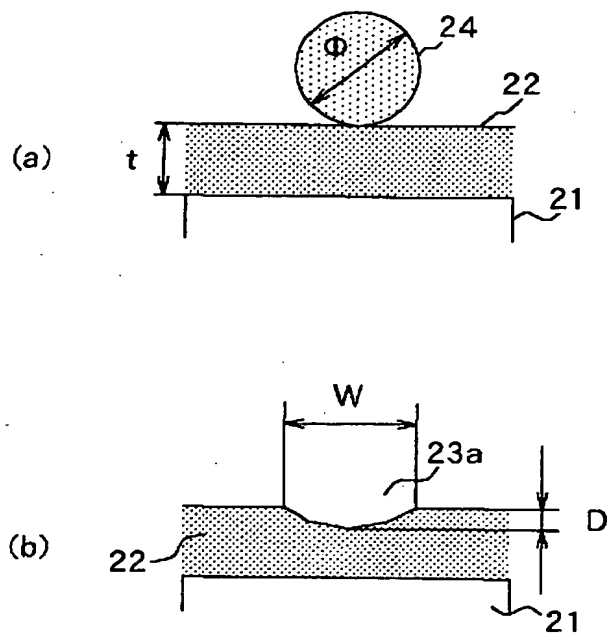
【図 1】

図 1



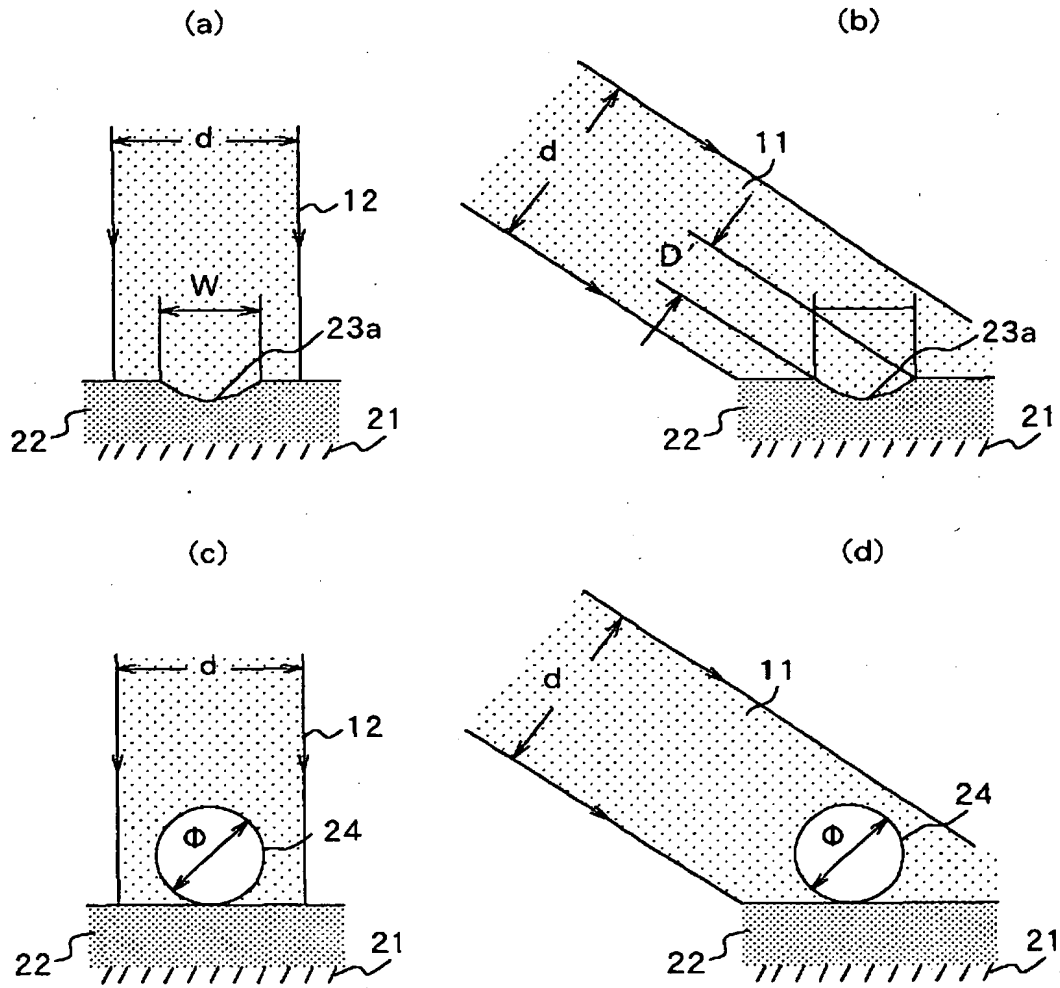
【図 2】

図 2



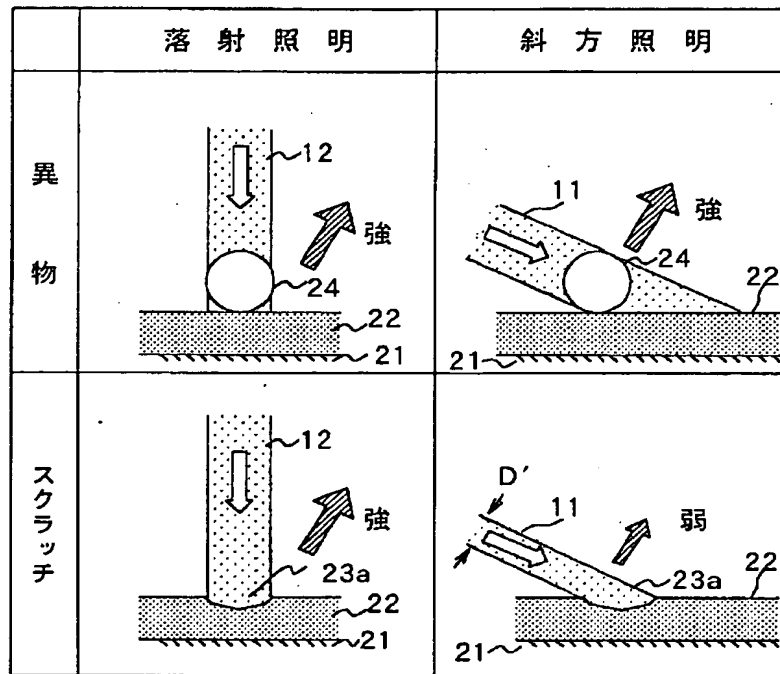
【図 3】

図 3



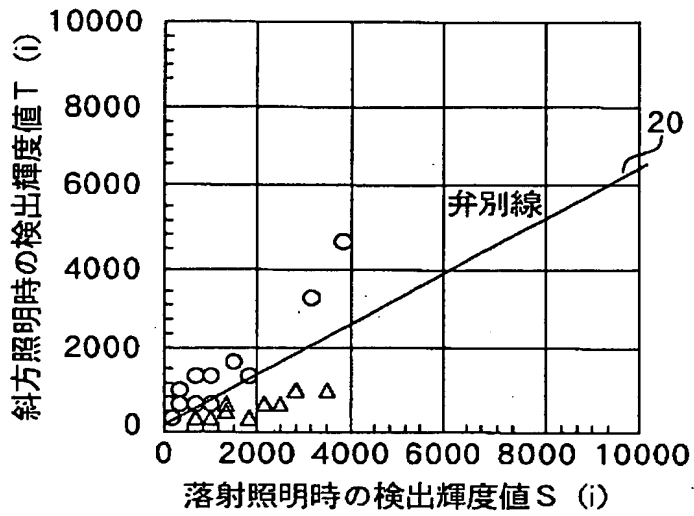
【図 4】

図 4



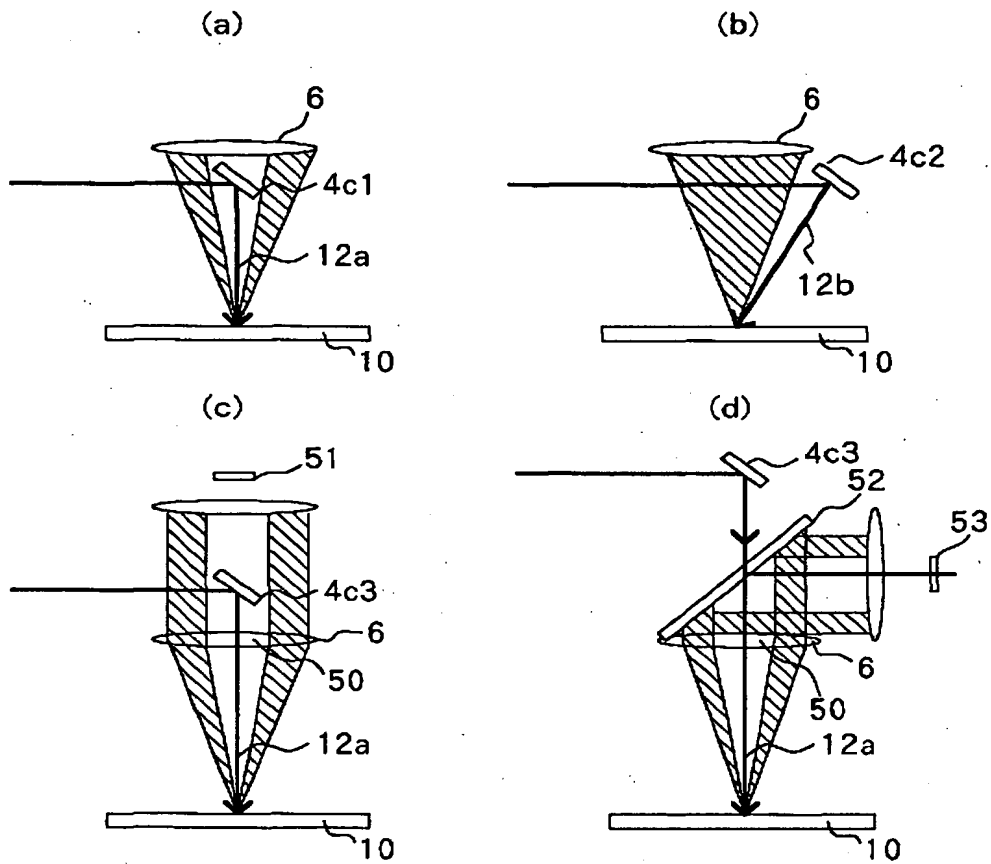
【図 5】

図 5



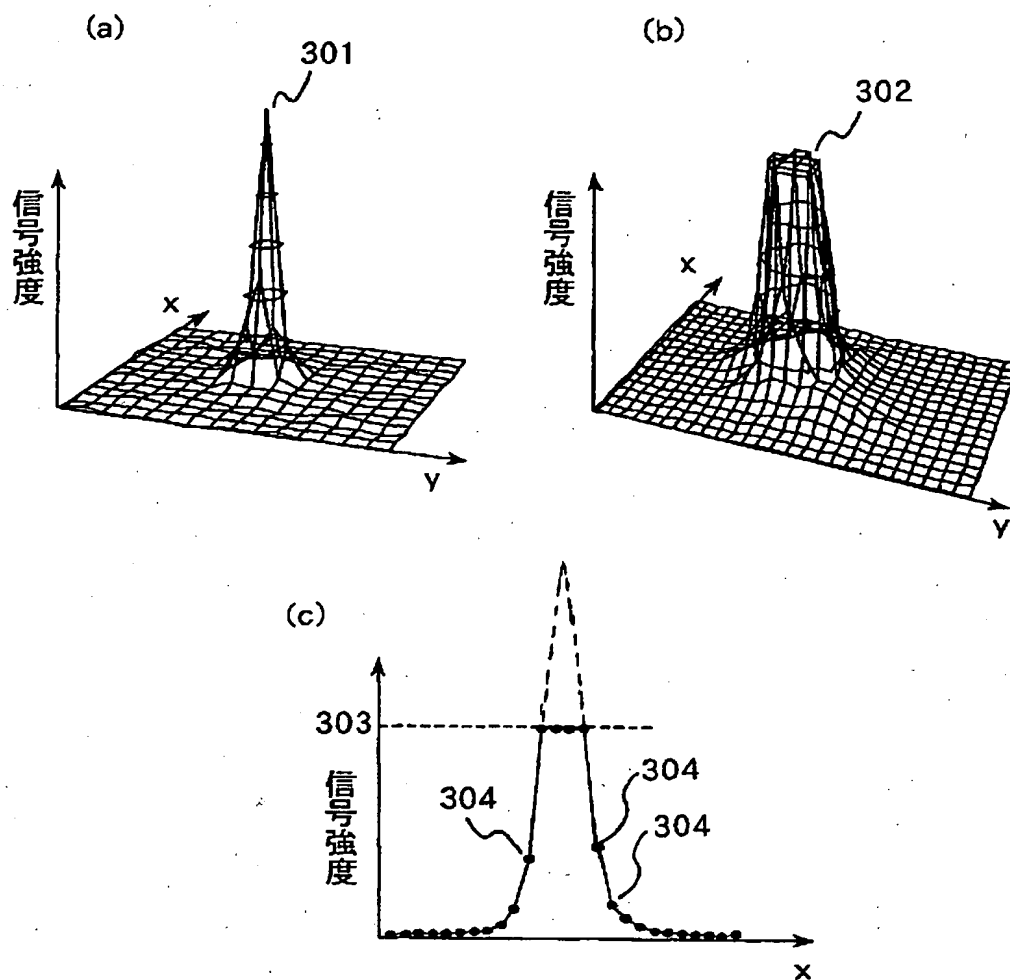
【図 6】

図 6

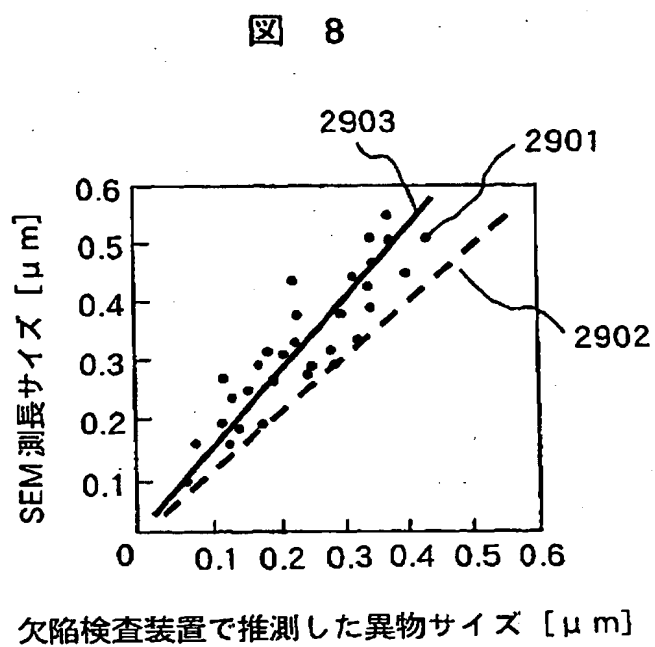


【図 7】

図 7



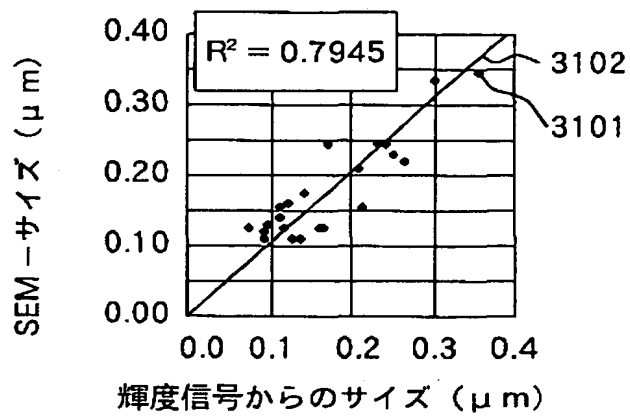
【図 8】



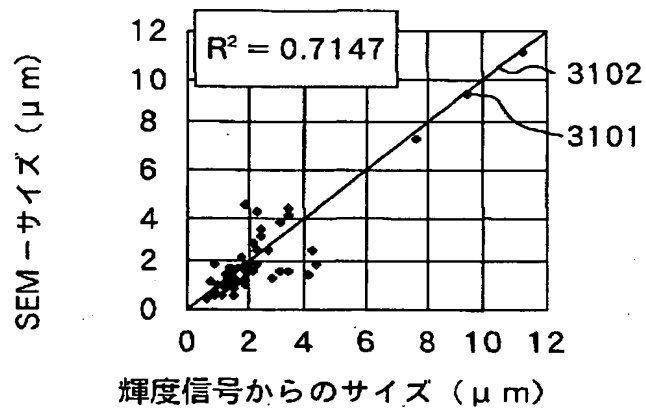
【図9】

図 9

(a) フロントエンド・プロセス・ウエハ

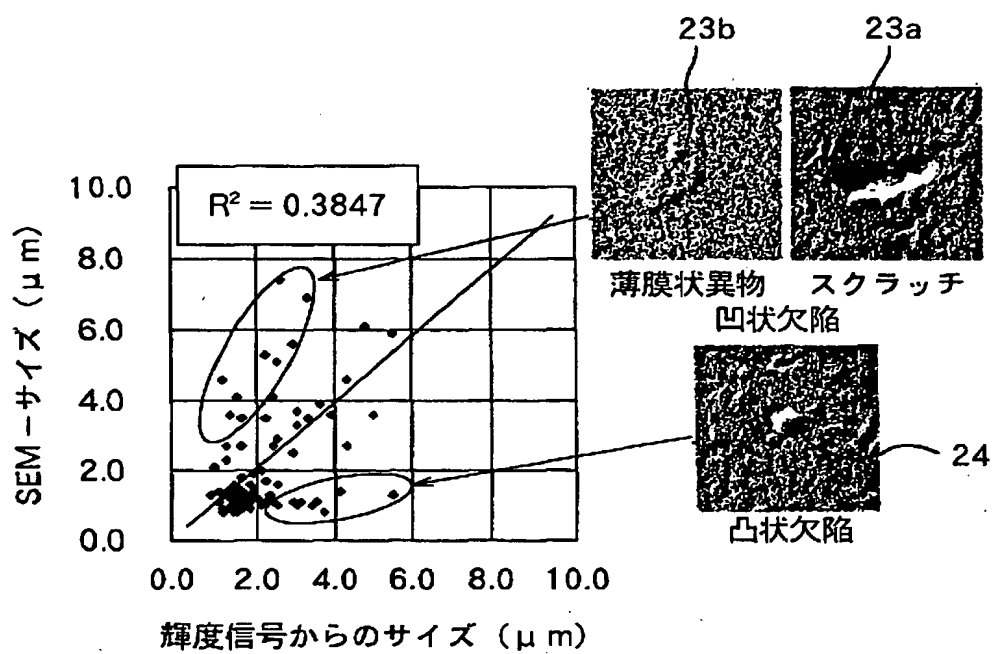


(b) バックエンド・プロセス・ウエハ



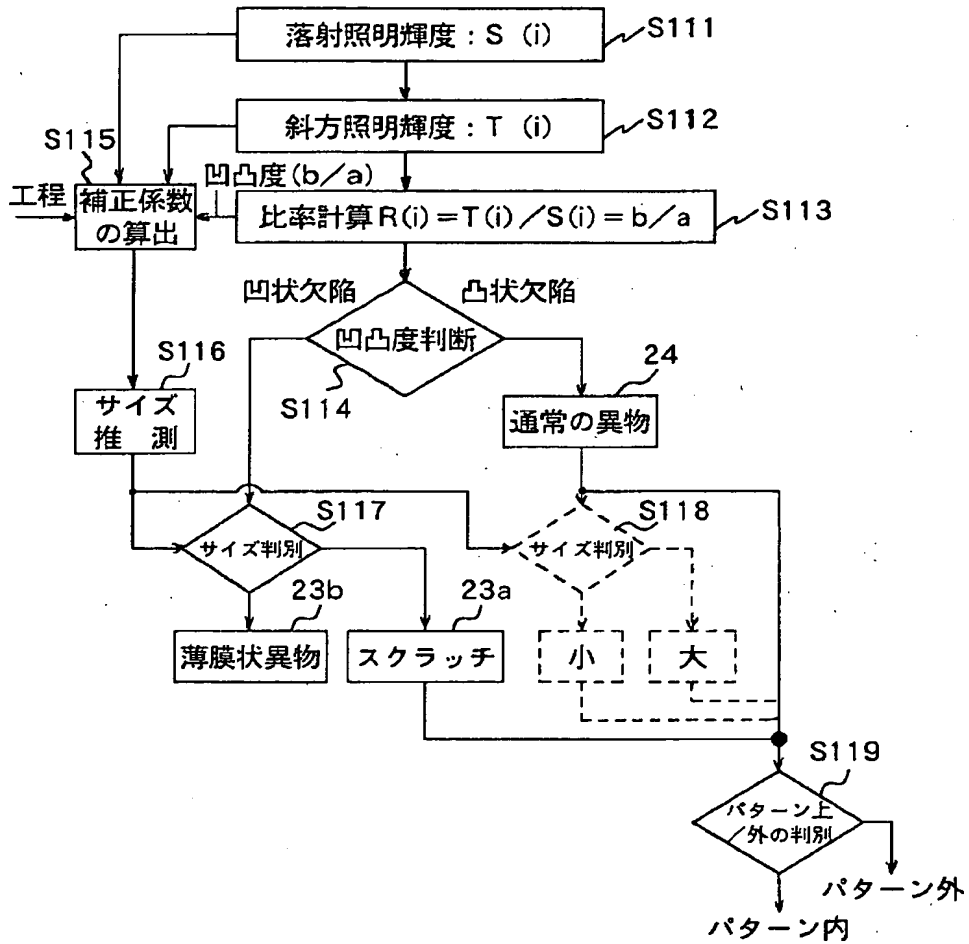
【図 10】

図 10



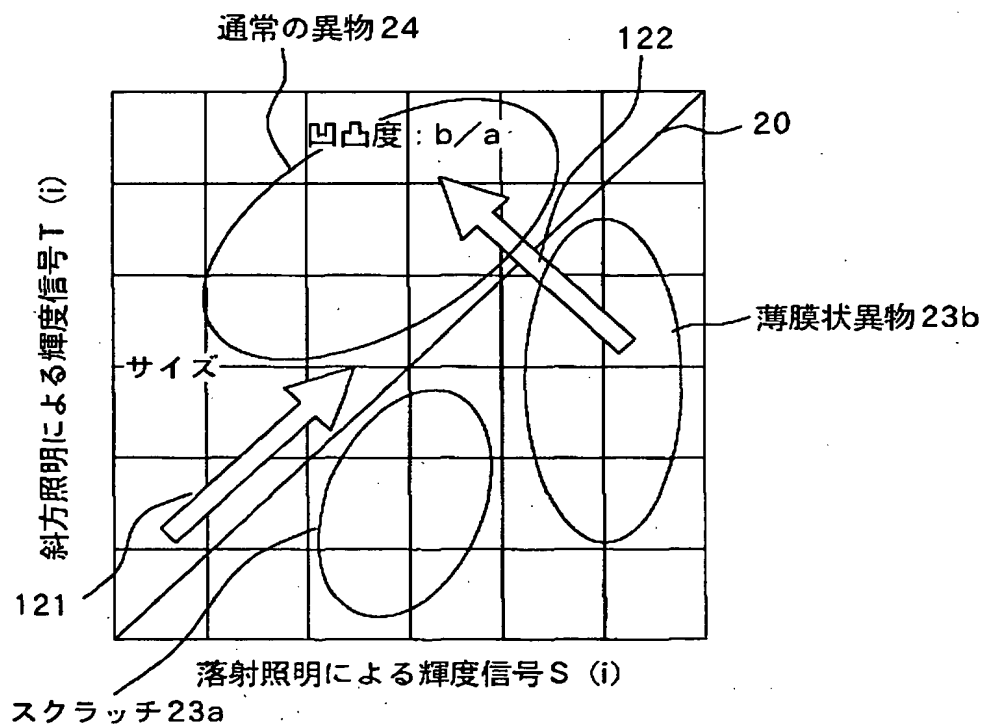
【図 11】

図 11



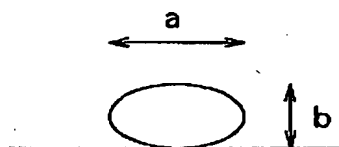
【図 12】

図 12



【図 13】

図 13



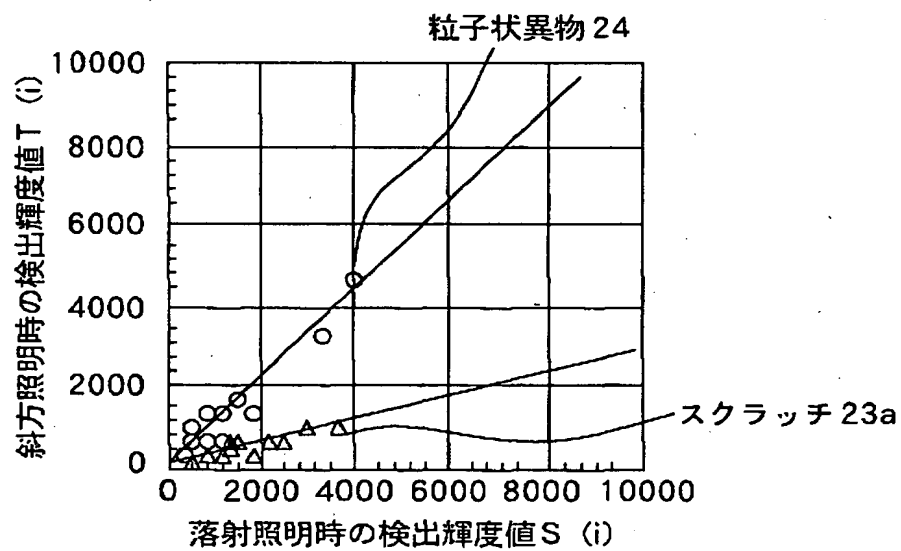
【図 14】

図 14

サイズ	小		大
異物／スクラッチ	異物	スクラッチ	—
パターン上	カテゴリ1	カテゴリ3	カテゴリ5
パターン外	カテゴリ2	カテゴリ4	

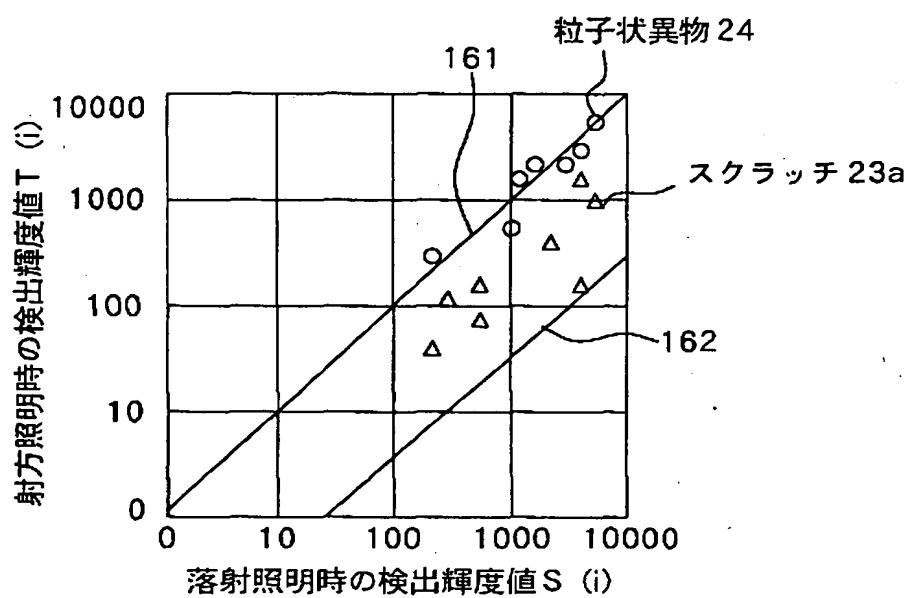
【図 15】

図 15



【図 16】

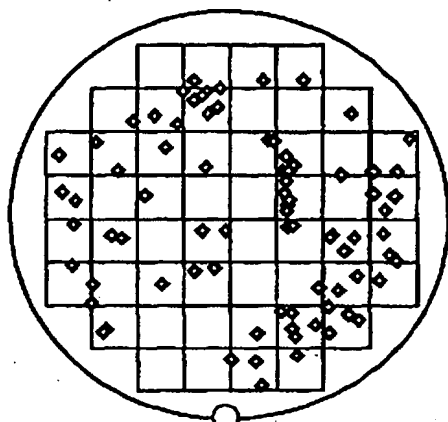
図 16



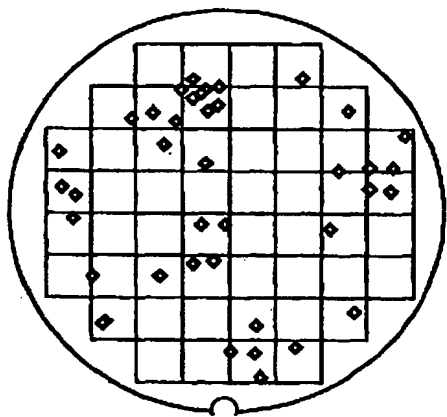
【図17】

図 17

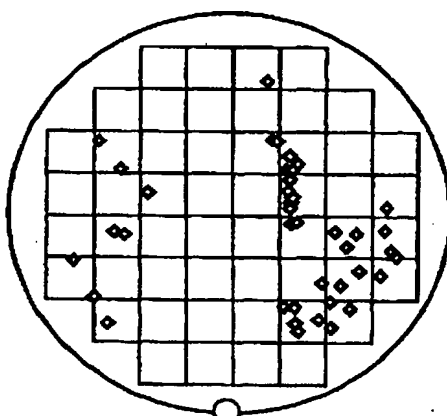
(a)



(b)



(c)



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 半導体製造や磁気ヘッド製造において、被加工対象物（例えば、半導体基板上の絶縁膜）に対してCMPなどの研磨または研削加工を施した際、その表面に生じる様々な形状を有するスクラッチと付着する異物とを弁別して検査することができるようにした欠陥検査装置およびその方法を提供することにある。

【解決手段】 本発明は、研磨または研削された絶縁膜の表面に発生したスクラッチや異物に対してほぼ同じ光束で落射照明と斜方照明とを行い、該落射照明時と斜方照明時との間において浅いスクラッチと異物とから発生する散乱光強度の比率等の相関関係に基いて浅いスクラッチと異物とを弁別しすることを特徴とする。

【選択図】 図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005108]

1. 変更年月日 1990年 8月31日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

氏 名 株式会社日立製作所

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000233480]

1. 変更年月日	1994年 9月20日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都渋谷区東3丁目16番3号
氏 名	日立電子エンジニアリング株式会社